



研究紹介

赤外線サーモグラフィーを用いた子牛の健康管理システムの開発

鈴木 亨¹⁾, 吉永有一²⁾, 宮田正文²⁾, 木村彰一²⁾, 勝田 賢³⁾

Monitoring system of body temperature in calves by using infrared thermography

Tohru SUZUKI¹⁾, Yuichi YOSHINAGA²⁾, Masafumi MIYATA²⁾, Syoichi KIMURA²⁾ & Ken KATSUDA³⁾

子牛の集約的・多頭管理の大規模農場において、作業従事時間の短縮と労力低減をもたらす哺乳ロボットと、非侵襲性及び省力性に優れた赤外線サーモグラフィーによる体温測定を組み合わせた子牛の自動健康管理システムを開発した。哺乳量の低下と発熱を同時に検知することで、体調不良（病気）の個体を早期に精度よく発見することが可能となり、早期治療あるいは集団内における病気の蔓延防止に役立つことが大いに期待できる。また本システムは、同時に、飼育環境の温度測定も行っているため、病気を引き起こすリスク要因の把握にも貢献する。本システムの導入により、総合的な農場衛生管理システム構築の基礎を確立した。

はじめに

子牛は成牛に比べて生体防御能が低いいため、肺炎などの呼吸器病や胃腸炎などの消化器病が病傷事故件数の大半を占めており¹⁾、子牛の健康管理において肺炎や下痢に対する対応が強く求められている。子牛を健全に育成することは、その後の搾乳牛や肥育牛の生産にとって極

めて重要であり、近年の酪農及び肉牛農場の大規模化・多頭数化の進展に伴い、子牛の管理方法は、哺乳作業を軽減する目的で哺乳ロボットの導入やコントラクターによる哺乳・育成方式の導入が進められている。また、子牛の集約的・多頭管理技術は省力的で有用な生産方式であるが、一方で免疫や生理機能が不十分な子牛を少人数でケアしなければならず、生産規模が大きいほど子牛の栄養状態や病気の初期症状を見逃す機会が増し、それに伴う被害も増大する可能性が高い。子牛の健康状態をセンシングする手法としては、これまでに体調変化を反映する体温（直腸温）測定や血液検査が用いられてきたが、数十頭あるいは数百頭規模で集団管理されている子牛を1頭ずつ保定して体温測定や採血及び分析を定期的を実施することは、労力・コストの面で現実的ではない。そこで、大規模・多頭管理されている子牛群において、これらの手法に替わる日々の子牛の健康状態を労力・負担をかけずに正確にセンシングする技術の開発が求められている。

哺乳ロボットは作業従事時間の短縮と労力低減をもたらすとともに、生体防御能が低い子牛の発病率低下に寄与しており、これまでに全国で約1000台が稼働している状況にある。一方、赤外線サーモグラフィーは非接触

-
- 1) 農研機構 動物衛生研究部門, ウイルス・疫学研究領域
〒305-0856 茨城県つくば市観音台 3-1-5
 - 2) 日本アビオニクス株式会社
〒141-0031 東京都西五反田 8-1-5
 - 3) 農研機構 動物衛生研究部門, 細菌・寄生虫研究領域
〒305-0856 茨城県つくば市観音台 3-1-5

- 1) Division of Viral Disease and Epidemiology, National Institute of Animal Health, NARO, 3-1-5 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-0856, JAPAN
- 2) Nippon Avionics Co., Ltd., 8-1-5 Nishigotanda, Shinagawa, Tokyo 141-0031, JAPAN
- 3) Division of Bacterial and Parasitic Disease, National Institute of Animal Health, NARO, 3-1-5 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-0856, JAPAN.

Corresponding author: Tohru SUZUKI, PhD

Division of Viral Disease and Epidemiology, National Institute of Animal Health, NARO, 3-1-5 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-0856, JAPAN
Tel: 81-28-838-7914
E-mail: tohru_suzuki@affrc.go.jp

かつ短時間での温度（体温）計測が可能であるため、多頭数飼育の大規模農場において発熱を指標とした個体の健康管理に有用であるという報告が示されている²⁾⁴⁾。本研究では、それぞれの有用性に着目し、両者を融合させることで精度の高い子牛の健康管理システムを開発することを試みた。また、実際に農場で繰り返し本システムの運用試験を行い、より実用性に優れたシステムを開発することを試みた。

システムの主な概要

本システムは図1に示すように、子牛の体温を測定するための赤外線サーモグラフィー、個体識別を兼ねて夜間でも撮影可能な暗視カメラ、子牛の飼育環境温度を測定するための温度計とコントロールシステム（ソフトウェアおよびPC）より構成されている。なお、赤外線サーモグラフィーの主な特徴は表1にまとめた。

哺乳時における赤外線サーモグラフィーによる各個体の体温測定は以下のように行われる。まず初めに、哺乳中における子牛の側頭面が赤外線サーモグラフィーの画像枠内に収まるように焦点を合わせたのち、赤外線サー

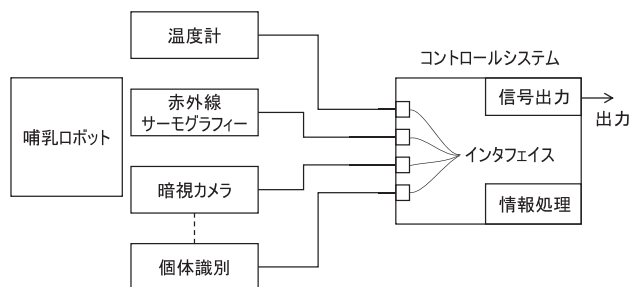


図1. システムの構成

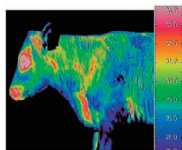
本システムは子牛の体温を測定するための赤外線サーモグラフィー、個体識別を兼ねて夜間でも撮影可能な暗視カメラ、子牛の飼育環境温度を測定するための温度計、そして一連の操作を司り、処理し、取りまとめるコントロールシステム（ソフトウェアおよびPC）より構成されている。

表1. 赤外線サーモグラフィの主な特徴

赤外線サーモグラフィーとは生体から放射されている赤外線量を非接触的に赤外線カメラを用いて計測し、温度に換算して体表温度の分布を画像化する方法である。

赤外線サーモグラフィの特徴

1. 広い範囲の表面温度の分布を相対的に比較できる。
2. 温度の高い箇所、低い箇所を特定することができる。
3. 対象物から離れていても、非接触で温度計測ができる。
4. リアルタイムで瞬時に（1秒以内に）温度計測ができる。
5. 赤外線であるため、個体の健康に影響はない。



モグラフィーを哺乳ロボットの側面に固定する（図2）。子牛が哺乳ロボット内に侵入すると、哺乳ロボットは個体に装着された管理タグを識別して、それぞれの個体における一日の哺乳量に合わせて、哺乳の許可を3～5分間程度与え、一回の哺乳における規定量に達したら、哺乳をやめるという一連の操作を繰り返している。この哺乳ロボットによる哺乳の許可を与えている間の識別情報を本システムと連動させることで、赤外線サーモグラフィーは子牛が哺乳している間、各個体の側頭部の最高温度を連続的に（1-99秒間隔で）測定し、個体ごとに、また哺乳回数ごとに体温データを記録・保存する。なお、赤外線サーモグラフィーが測定する牛の側頭部において安定して最高温度を示す箇所は図3に示すように眼周辺であり、基本的に本システムは各個体における眼窩の最高温度を一定期間連続的に測定していることになる。ついで、取得したデータは哺乳回数ごとに自動的に最高温

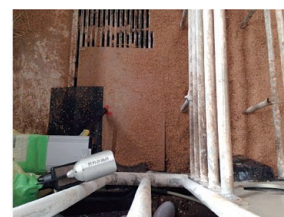


図2. 赤外線サーモグラフィの設置状況

哺乳中における子牛の側頭面が赤外線サーモグラフィの画像枠内に収まるように焦点を合わせたのち、赤外線サーモグラフィーを哺乳ロボットの側面に固定する

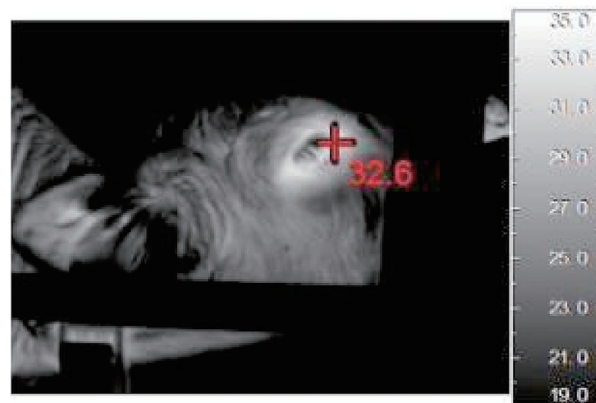


図3. 子牛の側頭部における最高温度

十が示すように、側頭部においては安定して、眼窩が最も高い温度を示す。

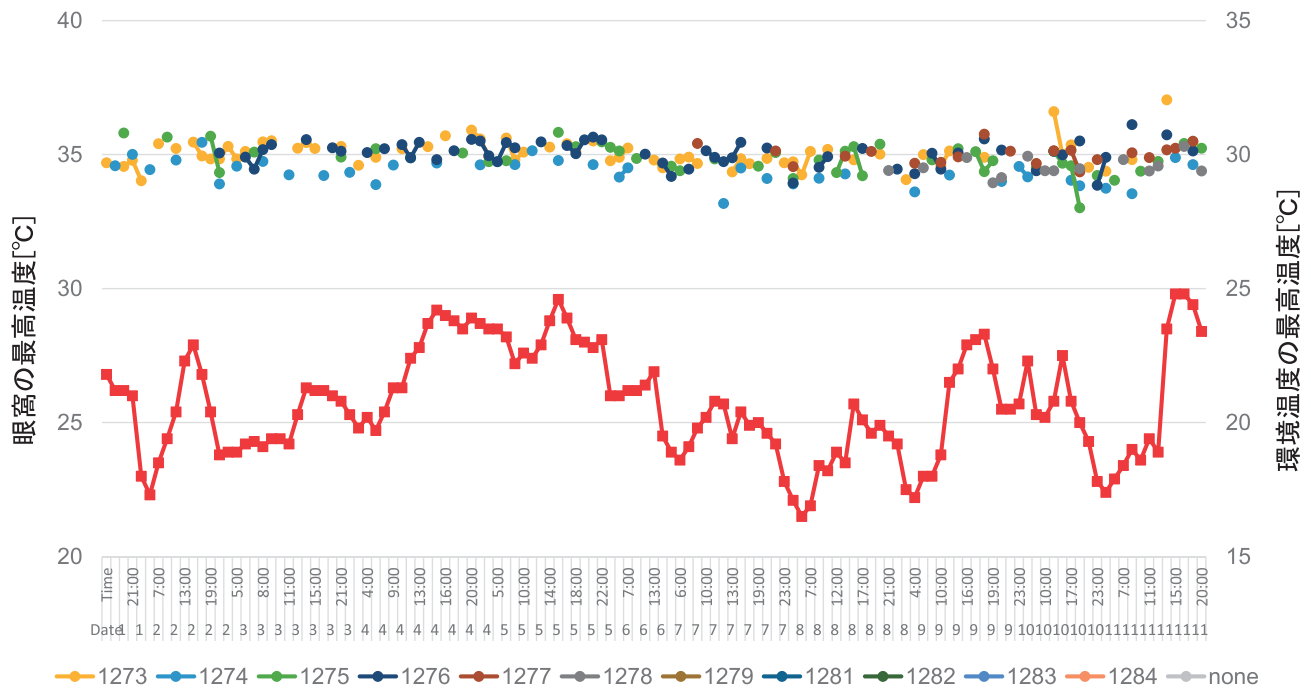


図4. 本システムで測定した各個体の体温変化

I県にある乳用牛農場で実際に飼育・管理されていた子牛（3週齢メス、ホルスタイン種、 $n = 12$ ）を対象に、11日間哺乳回数ごとに眼窩の最高温度（体温）を測定し、その回数ごとに最高温度を平均化し、グラフにプロットした。図中にはシステムの構成の一部である温度計で測定した環境温度の変化（赤線）も合わせて示す。

度が平均化され、農場主はそれらの値を元にグラフ等で日々の体温変化を可視化することで個体の健康状態を容易に把握することが可能となる。また、体温の変化と合わせて哺乳量の変化を比較することにより、精度の高い個体の健康状態の把握が可能となる。

図4には、I県にある乳用牛農場で実際に飼育・管理されていた子牛（3週齢メス、ホルスタイン種、 $n = 12$ ）を対象に、4月初旬から5月末の約1ヶ月半にわたって本システムの運用試験を実施した際のデータの一部を示した。また、図中には子牛の飼育環境温度も同時に示した。各個体は一日の中で早朝から夕方あるいは夜にかけて複数回哺乳していた。また、各個体の体温は環境温度が低い朝方に低く、環境温度が上昇する昼間～夕方にかけて高くなる傾向があり、日内変動が認められた。さらに、本システムによって測定された子牛の眼窩の最高温度は概ね35℃前後であり、直腸温より約4℃程度低い、直腸温と同様に安定して測定できることが示された。

また、別の農場（Y県にある肉用牛農場）で実際に飼育・管理されていた子牛（4週齢、黒毛和種、 $n = 3$ ）を対象に、11月下旬から12月下旬の約1ヶ月にわたって本システムの運用試験を実施した際のデータの一部を示した（図

5）。なお、各個体についてグラフにプロットした値は朝夕問わず1日の中で最も高い体温を示した時の値である。また、子牛の飼育環境温度（その日の最高温度）も合わせて示した。測定開始から始めの6日間は環境温度が比較的高く、体表温度である眼窩の最高温度も33℃

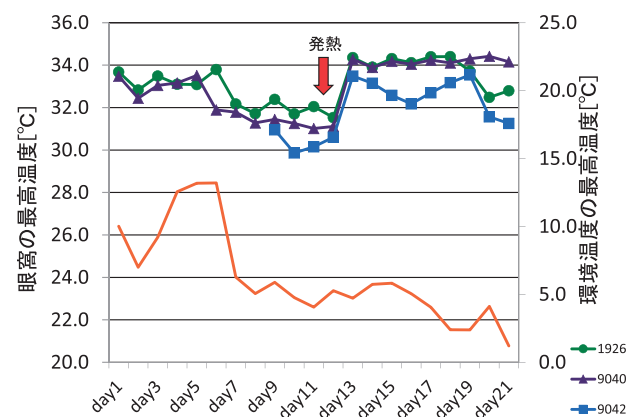


図5. 本システムで測定した各個体の体温変化

Y県にある肉用牛農場で実際に飼育・管理されていた子牛（4週齢、黒毛和種、 $n = 3$ ）を対象に、3週間にわたって眼窩の最高温度（体温）を測定し、グラフにプロットした。図中にはシステムの構成の一部である温度計で測定した環境温度の最高温度の変化（燈色）も合わせて示す。

前後の値を示した。しかしながら、7日目より外気温の低下に伴い、各個体の眼窩の最高温度も32℃以下まで低下した。測定から13日目、外気温はこれまでのように低値を示したが、各個体の眼窩の最高温度（体温）が急激に上昇し（34℃を超える値を示し）、その後約一週間に渡って高値を保ったまま推移した。これは、13日目から各個体が何らかの理由により発熱し、その症状が約一週間に渡って続いたことを表している。本データは本システムが個体の発熱（異常）を検出する上で有用であることを表している。

赤外線サーモグラフィーが持つ簡便性や有用性を哺乳ロボットと組み合わせることで、複数個体を対象にした自動且つ連続的な体温測定を実現し、個体の健康状態を容易に把握できるシステムが開発された。

システムにおけるオプションな機能

本システムはさらに複数回の運用試験を通して得られた問題点や農場主のニーズに合った機能を解決・向上するために、以下の機能を付随している。

1. 温度補正機能

一般的に、直腸温は深部体温であるため、周りの環境温度にほとんど影響されることなく、安定的にほぼ一定の温度を示す。一方、赤外線サーモグラフィーによって測定される体温は表1の特徴に示すように、あくまで体表温度であるため、周りの環境温度に左右されることがしばしばある。これまでに行った運用試験から、これら体表温度と環境温度の間には一定の相関関係が存在することを明らかにした。そこで、その相関関係から、以下の一次式を算出した。

式：補正後の体温の値＝補正前の体温の値＋測定時の環境温度×補正パラメーターA＋補正パラメーターB

これにより、本システムでは周りの環境温度が変化しても、安定してほぼ一定の体温を測定できることを実現している。

2. 体調判定機能（アラート機能を含む）

上記の温度補正機能を追加することで、本システムは周りの環境温度に左右されることなく、安定して体温を測定することが可能となる。その結果、本システムを一定期間（7-10日程度）運用すれば、各個体の平常時における体温の特徴を十分に把握でき、これにより、各個体の平常時の体温、日内変動に伴う温度の振れ幅などに基づいて、各個体の正常温度閾値を定め、その閾値から逸脱した温度変化、すなわち発熱等を示した場合を異常と

して自動判定する機能を付加している。異常と認められる個体を検知した場合は、警報等によって農場主に一早く知らせるアラート機能も備えている。以上のことにより、農場主は、個体の異常を一早く把握し、早期治療や集団内における蔓延防止措置等の初期対応を実現可能としている。

おわりに

今回我々は子牛の飼育環境の温度変化を考察しながら、野外での病原体感染等を通じて起こる子牛の体温変化を24時間、365日見逃すことなく自動で監視できるシステムを開発した。さらに、本システムは複数回の運用試験を通じて、問題点や必要な機能を追加・改善し、より実用性の高いシステムに仕上がっている。現在、本システムは生産現場への普及・拡大に向けて、関連企業と連携しながら着実な一歩を踏み出している。今後、本システムが生産現場に普及することで、農場が直面している子牛の疾病対策に対する労力・コストの面での問題点を大幅に解消し、生産性の向上に寄与することが大いに期待できる。さらに、消費者に対しても慢性疾患の早期発見に伴い、抗菌剤等の低減化が飛躍的に向上することから、畜産物の安心・安全性の確保に大きく貢献するものと思われる。

最後に、これまでに述べてきた本システムの構成および内容、さらにオプションな機能はすでに特許出願している⁵⁾。

引用文献

- 1) 農林水産省 平成27年家畜共済統計表
- 2) Schaefer, A. L., Cook, N. J., Tessaro, S. V. et al.: Early detection and prediction of infection using infrared thermography. Can. J. Anim. Sci. 84, 73-80 (2004).
- 3) Schaefer, A. L., Cook, N. J., Church, J. S. et al.: The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. Res. Vet. Sci. 83, 376-384 (2007).
- 4) Lovett, K., Pacheco, J. M., Packer, C. et al.: Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. Vet. J. 180: 317-324 (2009).
- 5) 特願 2015-218749「家畜の体調監視装置、情報処理装置、家畜の体調監視方法及び家畜の体調監視プログラム」(平成27年11月6日出願)

Summary

**Monitoring system of body temperature in calves
by using infrared thermography**Tohru SUZUKI¹⁾, Yuichi YOSHINAGA²⁾, Masafumi MIYATA²⁾, Syoichi KIMURA²⁾ & Ken KATSUDA³⁾

The economic losses of calves, which susceptible to infectious pathogens causing diarrhea and pneumonia are serious. An early detection of infected calves is important to implement effective treatment and control disease within herds. Body temperature is one of suitable parameters to exhibit health condition of animal. Infrared thermography is a non-invasive sensing technique, and is superior to measure quickly object's temperatures. Our system using the infrared thermography can comprehend health condition of animal by monitoring of ophthalmic max temperature correlating with rectal temperature during drinking milk fed by robot. In addition, this system has an optional function which correct ophthalmic max temperature according to daily fluctuation of ambient temperature by monitoring ambient temperature continuously. In conclusion, this system enables early detection of abnormal animal, and it will lead to carry out appropriate treatment promptly. Hence it would contribute to reducing animal suffering and improving the economic losses in farm. This system is patent pending in Japan.